

プロジェクト1

静荷重・走行荷重を受ける RC 床版の押し抜きせん断耐力

木田 哲量 (土木工学科)・阿部 忠 (土木工学科)・澤野利章 (土木工学科)

1. はじめに

本研究は、RC 床版の押し抜きせん断耐力を理論的に評価するために、単鉄筋配置と複鉄筋配置した場合の長方形断面 RC 床版 2 タイプを用いて、①静荷重実験、②走行荷重実験を行い、それぞれの実験における最大耐力および破壊メカニズムを検証したものである。また、本実験における破壊メカニズムから押し抜きせん断力学モデルも検討し、本実験値と理論値を近似させるために松井式²⁾の修正を行ない、RC 床版の合理的な設計法の確立の一助とするものである。

2. 供試体の材料および寸法

2.1 使用材料

供試体のコンクリートには、普通ポルトランドセメントと最大寸法 20 mm の粗骨材を使用した。コンクリートの圧縮強度は 100×10 タイプの場合は 30.0N/mm²、120×13 タイプの場合は 32.0N/mm² である。また、鉄筋には D10 を用いた。鉄筋の降伏強度は 370N/mm²、弾性係数は 200kN/mm² である。

2.2 供試体寸法および鉄筋の配置

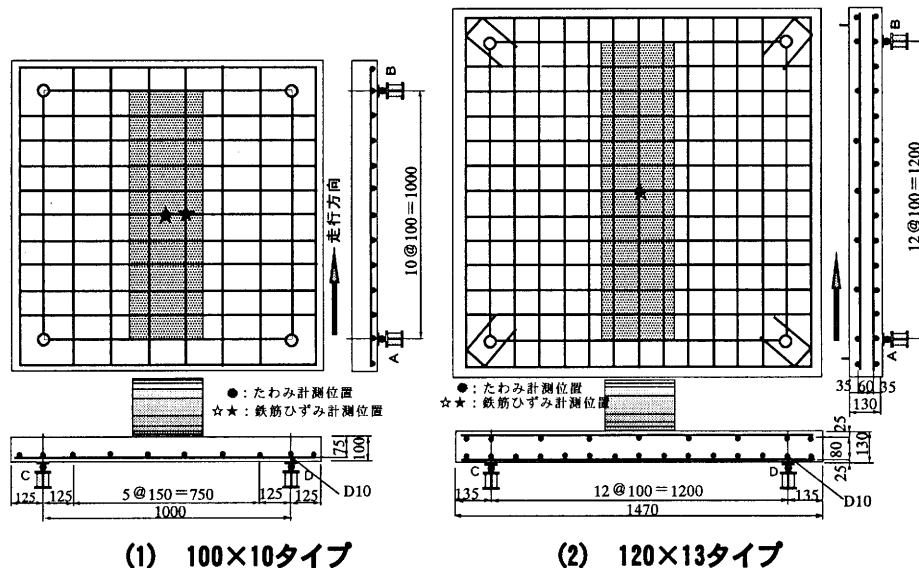


図-1 RC床版寸法および鉄筋の配置

RC 床版供試体は浮き上がり防止を設けない正方形版を 4 辺単純支持とし、その寸法および鉄筋の配置を図-1に示す。

(1) 100×10タイプ床版供試体

供試体の支間長は 100cm、供試体の張り出し部は 12.5cm とし、全長 125cm とする。鉄筋の配置は単鉄筋とする。軸直角方向に D10 を 10cm 間隔に配置し、有効高さ $d = 7.5\text{cm}$ とする。また軸方向には、D10 を 15cm 間隔に配置し、有効高さ $d = 6.5\text{cm}$ とした。

(2) 120×13タイプ床版供試体

供試体は全長を 147cm、支間 120cm の等方性版とし、鉄筋は複鉄筋配置とした。引張側の軸直角方向および軸方向に D10 を 10cm 間隔で配置し、有効高さをそれぞれ 10.5cm、9.5cm とする。また、圧縮側には引張鉄筋量の 1/2 を配置する。

3. RC床版の押し抜きせん断実験

3.1 静荷重実験(S)

静荷重実験は図-2(1)に示すように、車輪を床版の支間中央に停止した状態での載荷である。荷重の大き

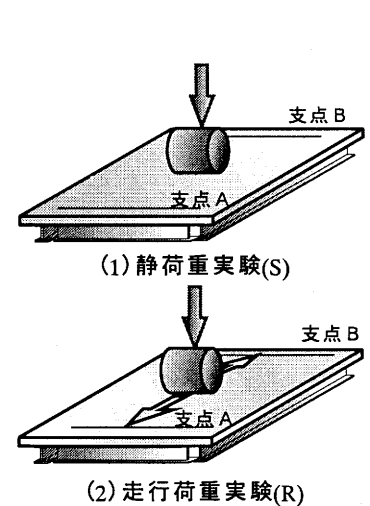


図-2 実験方法

Punching Shear Load-Carrying Capacity of RC Slabs under Static and Running Loads

by

Tetsukazu KIDA, Tadashi ABE and Toshiaki SAWANO

さは 5.0kN ずつ増加する段階荷重とした。

3.2 走行荷重実験(R)

走行荷重実験は図-2(2)に示すように、走行荷重が作用した場合に最も耐力低下が著しい支間中央から両支点方向へ1往復走行させて元の支間中央で停止させた実験である^{2), 3)}。まず、RC床版の支間中央に車輪を停止させ、荷重載荷後に軸方向に走行させて両支点を折り返す1往復を走行させて元の支間中央で停止させる。走行速度は100×10タイプの場合は1往復2.0mを9secで走行する0.22m/sとし、120×13タイプの場合は1往復2.4mを13secで走行する0.18m/sとした。荷重の大きさは、1走行ごとに5.0kNずつ増加する段階荷重とした。

4. 実験・理論耐力および破壊モード

4.1 実験耐力

本実験におけるRC床版の実験耐力を表-1に示す。本実験における走行荷重の場合の耐力とは、本実験の載荷条件のなかで、1往復走行を維持し得た最大荷重とする。

(1) 100×10タイプ

静荷重の場合の平均耐力は124.8kN、走行荷重の場合は92.1kNとなり、静荷重の場合と走行荷重の場合の実験耐力を比較すると、耐力比(R/S)は0.74であり、走行荷重の場合が26%耐力が低下した。また、破壊モードは押し抜きせん断破壊となった。

(2) 120×13タイプ

静荷重の場合の平均耐力は223.4kN、走行荷重の場合

表-1 実験耐力および破壊モード

供試体	実験耐力 (kN)	平均耐力 (kN)	耐力比 R/S	最大たわみ (mm)	破壊モード
100×10-S-1	119.8	124.8	—	10.8	押し抜きせん断破壊
100×10-S-2	129.7			9.2	押し抜きせん断破壊
100×10-R-1	94.4	92.1	0.74	6.4	押し抜きせん断破壊
100×10-R-2	89.8			7.1	押し抜きせん断破壊
120×13-S-1	221.3	223.4	—	9.5	押し抜きせん断破壊
120×13-S-2	225.4			11.9	押し抜きせん断破壊
120×13-R-1	170.7	168.5	0.75	12.0	押し抜きせん断破壊
120×13-R-2	166.2			10.2	押し抜きせん断破壊

は168.5kNとなり、その実験耐力比(R/S)は0.75であり、走行荷重の場合が25%耐力が低下した。破壊モードは押し抜きせん断破壊となった。

4.3 破壊状況

(1) 各実験における破壊状況

本実験におけるRC床版の上・下面の破壊状況を図-3に示す。

1) 100×10タイプ

図-3(1), 1)に示す静荷重の場合、上面には降伏線方向にひび割れが発生している。また、下面は降伏線方向にひび割れが発生し、破壊面はダウエル効果によりコンクリートがはく離している。次に、走行荷重の場合、床版の上面のひび割れ間隔は図-3(1), 2)に示すように、スラブ中央の荷重位置付近から軸直角方向に10cm～13cm間隔で発生し、とくに走行面が著しい。しかし、静荷重と異なって降伏線の影響による正方形の抜け落ちはみられない。また、床版の下面のひび割れは、軸直角方向に10cm間隔、軸方向にも15cm間隔で発生し、格子状を形成している。最終的には、支間中央で荷重増加中に破壊した。

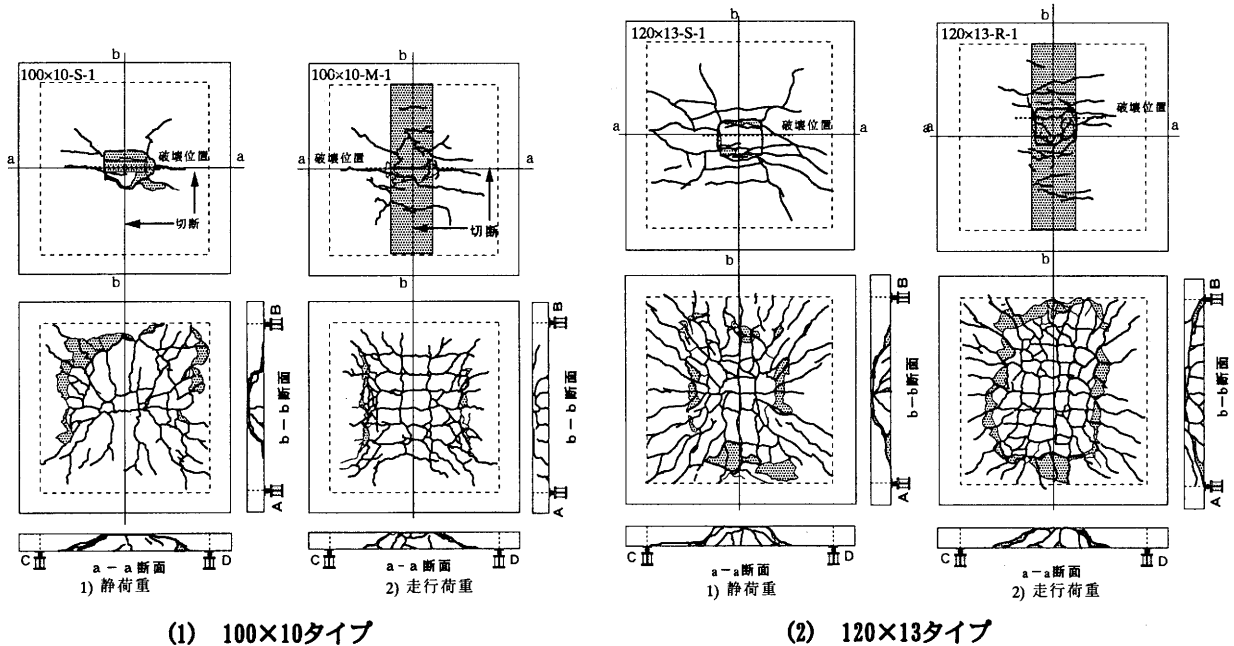
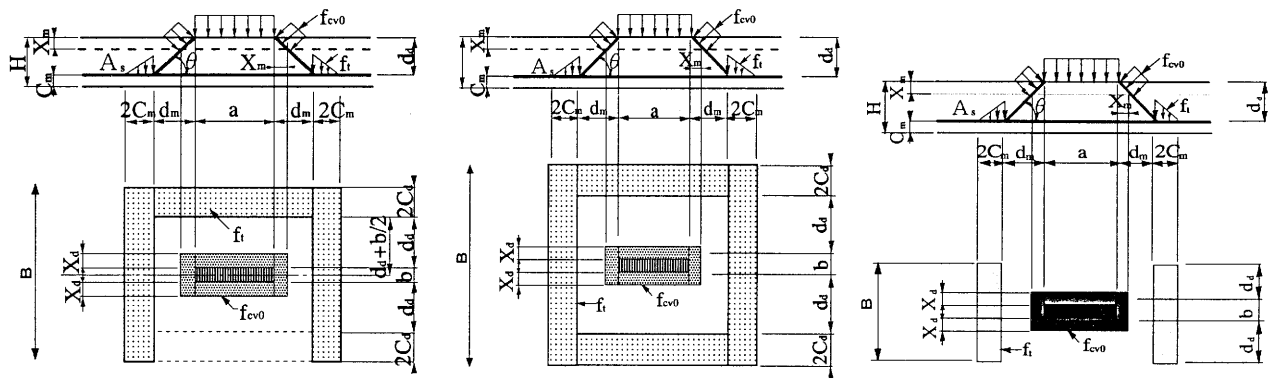


図-3 各実験供試体の破壊状況



(1) 100×10タイプ
 (2) 120×13タイプ¹⁾
 図-4 静荷重が作用する押し抜きせん断モデル

図-5 走行重載が作用する押し抜きせん断モデル

2) 120×13タイプ

図-3(2), 1)より、静荷重の場合は、降伏線方向にひび割れが発生している。車輪の設置面は 25cm×4cm であるが、降伏線の影響により 25cm×20cm で押し抜かれている。また、下面は降伏線方向にひび割れが発生し、破壊面はダウエル効果によりコンクリートがはく離している。また、120×13 タイプは複鉄筋配置であることから、静荷重の場合は軸直角方向および軸方向ともに、圧縮鉄筋により荷重が分布され、引張鉄筋のかぶり内はダウエル効果の影響が全面にでている。

5. 押し抜きせん断耐力の修正

本実験の最大耐力と押し抜きせん断耐力式は、走行荷重の影響を考慮している松井式に着目し、修正式を提案する。

5.1 押し抜きせん断力修正理論式

(1) 押し抜きせん断破壊モデル

1) 静荷重実験

松井式¹⁾は、コンクリートのはく離破壊が広範囲にわたるために下側の引張鉄筋のダウエル効果の影響を考慮している。しかし、現象的には供試体 100×10 タイプでは、圧縮鉄筋を配置していないことから、輪荷重により押し抜かれた場合は、全面に押し抜かれることは無く、片側が押し抜かれた後に、残りの半分が押し抜かれている。したがって、臨界面全てにダウエル効果は期待できないものとして、押し抜きせん断力学モデルを図-4(1)に示す。

次に、供試体 120×13 タイプは、底面のひび割れ状況に見られるように、押し抜きせん断面にダウエル効果が見られる。したがって、押し抜きせん断力学モデルは松井らが提案している力学モデルを適用する(図-4(2))。

2) 走行荷重実験

RC 床版がはり状化後の押し抜きせん断力学モデルは、貫通ひび割れとなるはり状化に関する実験研究から 40cm 程度²⁾と報告されている。しかし、輪荷重の軸方向の分布幅(50cm×20cm)を考慮するならば、配筋方向の辺長 X_d も考慮する必要がある。したがって、走行荷重を受ける RC 床版の押し抜きせん断力学モデルを図-5のように提案する。

本実験より得られた、図-5の押し抜きせん断力学モデルをもとに、単鉄筋配置および複鉄筋配置における押し抜きせん断耐力を提案する。

(2) コンクリートのせん断強度式

コンクリートの圧縮強度は、設計基準強度を 20N/mm² ~ 80N/mm² までの供試体 34 体用いて、モード II 型新一面せん断試験によって得られるコンクリートせん断応力度をせん断強度 f_{ev0} と定義して、押し抜きせん断耐力式に適用する。そこで、コンクリートのせん断強度式には、式(1)を適用する。

$$f_{ev0} = 0.688f_c^{0.610} \quad (f_c \leq 80\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

ここに、f_c: コンクリートの圧縮強度

(3) 静荷重に対する押し抜きせん断耐力

1) 単鉄筋配置

松井式における軸直角方向の引張強度となる面積は、2(a+2d_m)C_d としているが、本研究の単鉄筋配置の場合は図-4(1)に示す力学モデルより、(a+2d_m)C_d として、式(2)を提案する。

$$V_{cp} = f_{ev0} \{ 2(a+2X_m)X_d + 2(b+2X_d)X_m \} + f_t \{ 2(4C_d + 2d_d + b)C_m + (a+2d_m)C_d \} \quad (2)$$

$$f_{ev0} = 0.688f_c^{0.610} \quad (f_c \leq 80\text{N/mm}^2) \text{ (提案式)}$$

$$f_t = 0.269f_c^{2/3} \quad (f_c \leq 80\text{N/mm}^2)$$

ここで、 V_{cp} ：押し抜きせん断耐力， a ， b ：載荷版の主鉄筋，配力筋方向の辺長， X_m ， X_d ：主鉄筋，配力鉄筋方向の中立軸の位置， d_m ， d_d ：引張主鉄筋，配力鉄筋の有効高さ， C_m ， C_d ：引張主鉄筋，配力鉄筋のかぶり， f_{cv0} ：コンクリートのせん断強度 (N/mm^2)， f_t ：コンクリートの引張強度 (N/mm^2)⁴⁾

2) 複鉄筋配置

複鉄筋配置の場合は松井式と実験値がよく近似することから，コンクリートのせん断強度式(1)のみを適用する。よって，式(3)となる。

$$V_{cp} = f_{cv0} \{2(a+2X_m)X_d+2(b+2X_d)X_m\} + f_t \{2(4C_d+2d_d+b)C_m+2(a+2d_m)C_d\} \quad (3)$$

$$f_{cv0} = 0.688f_c^{0.610} (f_c \leq 80N/mm^2) \text{(提案式)}$$

$$f_t = 0.269f_c^{2/3} (f_c \leq 80N/mm^2)$$

(4) 走行荷重の場合の押し抜きせん断耐力

走行荷重が作用した場合は，図-5に示した押し抜きせん断力学モデルより，式(4)を提案する。なお，せん断強度式は式(1)を適用する。

$$V_{cp} = f_{cv0} \{2(a+2X_m)X_d+2(b+2X_d)X_m\} + f_t \{2(2d_d+b)\} 2C_m \quad (4)$$

$$f_{cv0} = 0.688f_c^{0.610} (f_c \leq 80N/mm^2) \text{(提案式)}$$

$$f_t = 0.269f_c^{2/3} (f_c \leq 80N/mm^2)$$

押し抜きせん断耐力修正理論式(2)，(3)，(4)より求めた結果を表-2に示す。

表-2 押し抜きせん断力修正理論耐力

供試体	実験耐力 (kN)	理論耐力	
		修正式	実験値 理論値
100×10-S1	119.8	114.2	1.049
100×10-S2	129.7		1.136
100×10-R1	94.4	81.7	1.155
100×10-R2	89.8		1.099
120×13-S1	221.3	219.8	1.007
120×13-S2	225.4		1.025
120×13-R1	170.7	147.5	1.157
120×13-R2	166.2		1.127

表-2より，本実験供試体の実験押し抜きせん断耐力と破壊状況による押し抜きせん断力学モデルおよび一面せん断強度式(1)を適用した場合の松井式修正理論式による理論値を考察する。まず，単鉄筋配置における静荷重の場合は，実験値に対して修正理論式(2)より算出すると供試体 100×10-S-1 で 1.049 倍，供試体 100×10-S-2 で 1.136 倍となり，安全側で近似した結果が得られ

た。また，走行荷重の場合のはり状化後は，提案式(4)より算出すると供試体 100×10-R-1，R-2 で，それぞれ 1.155 倍，1.099 倍となり実験値と理論値がより近似する結果となった。次に，複鉄筋配置の場合は，松井式にせん断強度式(1)を適用した場合，すなわち式(3)より算出すると供試体 120×13-S-1 で 1.007 倍，供試体 120×13-S-2 で 1.025 倍となり，実験値と理論値がより近似した。また，走行荷重の場合も供試体 120×13-R-1，R-2 で，それぞれ 1.157 倍，1.127 倍と実験値と近似した。

6. まとめ

①単鉄筋配置における静荷重と走行荷重の場合の押し抜きせん断耐力比は 0.74 となり，走行荷重の場合が 26 % 耐力が低下した。また，複鉄筋配置の場合の静荷重と走行荷重の場合の押し抜きせん断耐力比は 0.75 となり，走行荷重の場合が 25 % の耐力が低下した。

②破壊モードは供試体 100×10，120×13 タイプともに静荷重の場合は押し抜きせん断破壊となるが，走行荷重の場合は，軸直角方向は押し抜きせん断破壊となるが，軸方向ははり状化するものの，押し抜きせん断破壊となった。

③静荷重および走行荷重が作用した場合の単・複鉄筋配置 RC 床版の押し抜きせん断力学モデルによる修正押し抜きせん断耐力式を提案した。また，本実験から得たコンクリートのせん断強度式を適用した結果，理論値と実験値の比は，静荷重が作用する 100×10 タイプで 1.09 倍，120×13 タイプは 1.02 倍，また走行荷重が作用する 100×10 タイプで 1.13 倍，120×13 タイプは 1.14 倍となり，両値が近似した結果となった。

参考文献

- 1) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文集，Vol.9, No. 2, pp. 677-632, 1987
- 2) 阿部 忠，木田哲量，澤野利章，星埜正明，加藤清志：走行荷重および変動荷重が作用する RC はりの耐荷力と動的影響，構造工学論文集，Vol. 47A, pp. 313-320, 2001.
- 3) 木田哲量，阿部 忠，澤野利章，水口和彦，加藤清志：走行荷重載荷実験による RC 床版の耐力と鉄筋ひずみ度からの破壊メカニズム評価，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp. 211-216, 2003.6
- 4) 岡村 甫：コンクリート構造の限界状態設計法，コンクリートセミナー 4，共立出版，pp. 17-18, 1979.